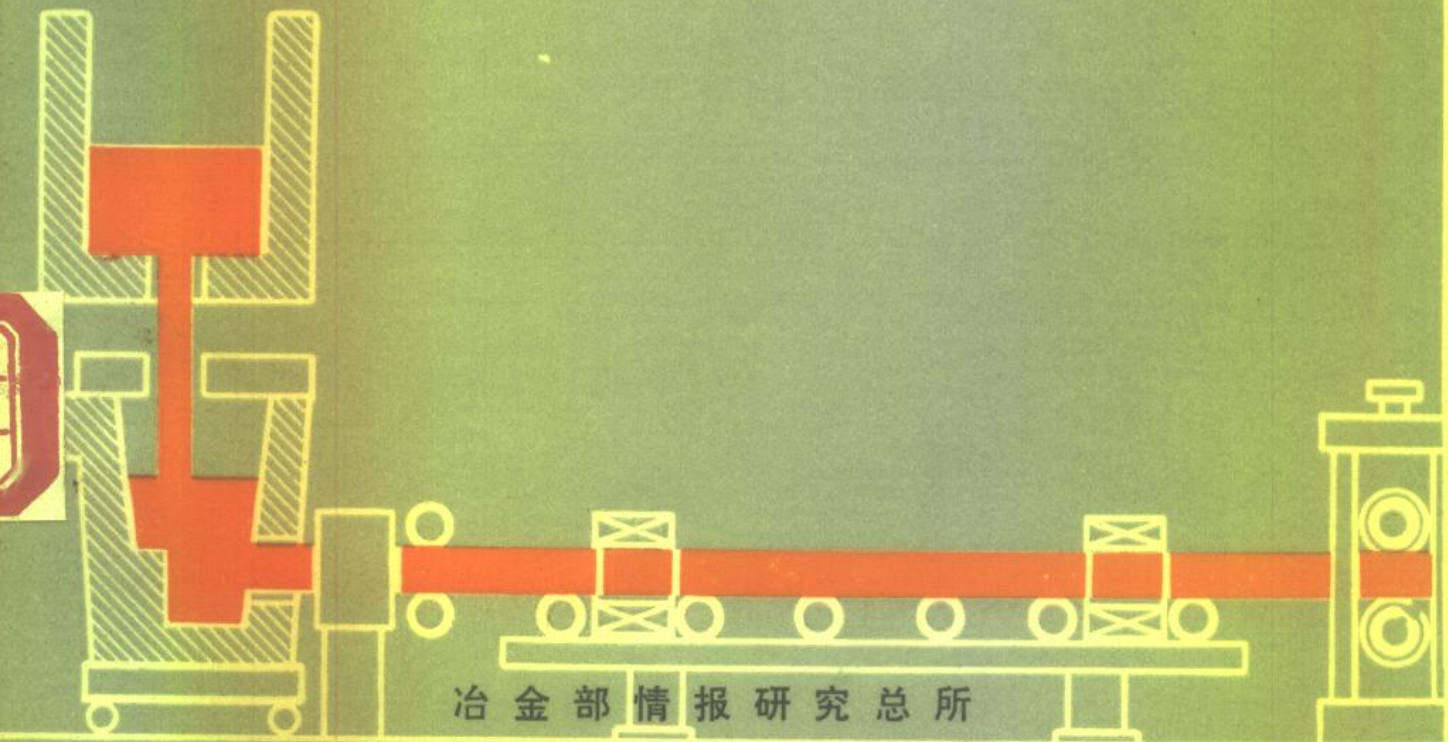


国外连铸新技术

水平连铸

(四)



冶金部情报研究总所

1986. 4

前 言

为配合我国“七·五”期间连铸技术的大发展，继《国外连铸新技术》（一）、（二）、（三）集出版之后，现又编辑出版了《国外连铸新技术》（四）。

《国外连铸新技术》（四）系水平连铸专辑，主要介绍近年来国外迅速发展的水平连铸新技术和新设备。本文集分综述、工艺和品种质量、设备、结晶器和中间罐、以及专利索引等六部分，包括50篇文章和157条专利索引。文章选自近期国际会议论文、期刊和专利文献。

本文集由冶部情报研究总所组织选题、翻译，并经冶金部钢铁研究总院、山西省冶金研究所及首都钢铁公司有关专家审核。阎峰负责编辑汇总和出版工作。由于水平所限，不当和错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1986年4月

目 录

第一部 综述

- 一、水平连铸的现状与未来……………野崎 努等 (1)
- 二、水平连铸—未来应用的技术……………Manfred Haissig (11)
- 三、浇铸碳钢和不锈钢的水平连铸机的发展……………野崎辉彦等 (18)
- 四、日本钢管公司小钢坯水平连铸技术的发展 ……S. Takeda等 (24)
- 五、大型水平连铸机的开发和浇铸钢种的扩大……………田中骏一等 (32)

第二部分 工艺、品种和质量

- 一、用水平连铸法生产高、低合金钢小铸坯的经验……………Manfred Haissig等 (40)
- 二、高合金不锈钢管件的水平连铸…………… S. Komori等 (47)
- 三、在大型水平连铸机上浇铸不锈钢……………鹤 雅广等 (55)
- 四、用水平连铸机浇铸的不锈钢圆坯的质量……………森 隆资等 (57)
- 五、冶炼设备和水平连铸机组装在一起生产硼钢 …… R. A. Heard等 (62)
- 六、用水平连铸机浇铸高合金钢……………阪根 武良等 (67)
- 七、不锈钢水平连铸坯的铸造组织……………土田 裕等 (68)
- 八、水平连铸坯用于热锻、冷锻及拉丝……………角南英八郎等 (69)
- 九、水平连铸坯用于热锻造……………角南英八郎等 (71)
- 十、水平连铸坯的凝固组织……………水田明能等 (73)
- 十一、水平连铸坯表面质量的改善……………鹤雅 广等 (73)
- 十二、防止水平连铸坯产生表缺陷的方法及设备…………… (74)
- 十三、水平连铸坯质量的提高…………… В. И. Литвинова等 (79)
- 十四、耐火材料的材质对水平连铸初期凝固现象的影响…………… (84)
- 十五、水平连铸的拉坯方法…………… (85)
- 十六、西德克虏伯公司采用振动结晶器和直线拉坯方式的水平连铸机操作工艺……………
…………… R. Hentrich等 (89)
- 十七、在水平连铸机上浇铸特殊钢时影响提高金属收得率和质量的一些参数……………
…………… Heribert A. Krall (93)
- 十八、水平连铸时最终铸坯的处理方法…………… (98)
- 十九、不锈钢水平连铸的微调基础…………… (101)

第三部分 水平连铸设备

- 一、水平连铸机的概要…………… 岡本芳夫 等 (102)
- 二、水平连铸机…………… (103)
- 三、水平连铸方法及其装置…………… (106)

四、无限轨道式水平连铸设备及其操作方法	(108)
五、水平连铸的拉坯装置	(112)
六、水平连铸设备用的拉辊	(115)
七、苏联的双向水平连铸机	(119)
八、苏联水平连铸的新工艺	(120)
九、苏联“半立弯”式双向水平连铸机	(120)
十、西德Krupp公司试验新的特殊钢水平连铸机	(121)
十一、苏联的圆坯水平连铸机	В. М. Нисковских等 (122)
十二、试验性薄板坯水平连铸机	(123)
十三、水平连铸机用分离环固定装置	(126)

第四部分 结晶器与中间罐

一、水平连铸机用结晶器	(128)
二、水平连铸用结晶器	(130)
三、水平连铸机用结晶器	(133)
四、管状结晶器铸模	(135)
五、水平连铸装置	(139)
六、水平连铸用的中间罐	(143)

第五部分 电磁场及电磁搅拌

一、水平连铸法	(146)
二、水平连铸电磁搅拌法	(177)
三、在水平连铸结晶器内的电磁搅拌方法及设备	(182)
四、通过电磁搅拌改善水平连铸坯的结晶组织	(190)
五、钢的水平连铸方法	(198)
六、钢的水平连铸方法	(202)
七、钢的水平连铸方法	(205)

第六部分 专利文献索引 (70年代末至80年代中)

一、工艺、品种和质量	(207)
二、设备	(214)
三、结晶器、中间罐及耐火材料	(221)
四、电磁场及电磁搅拌	(227)

第一部分 综述

一、水平连铸的现状与未来

野崎 努等

(一) 绪言

在日本立式(包括弧形、立弯式、立式等)连铸机的设备接近于饱和,1983年的钢产量为10020万吨,连铸比普通钢为91.5%,特殊钢为70.8%,与欧美相比达到了相当高的水平。但是,各公司的连铸机大多是60年代初建立的,机械本身也都比较陈旧了,因此,在最近的将来,连铸设备必须进行改造和全面检修。

以第一、二次石油危机为转机,节能的思想强烈地反应在炼钢过程中,考虑到节能和省力,作为下一代的连铸机,由于厂房结构、轧机等原因,水平连铸机受到重视。同时,更接近产品形状的连铸机(例如薄板坯和急冷薄带)的开发非常活跃。

本文将叙述水平连铸技术最近的发展动向和技术发展的潜力,水平连铸机与普通连铸机一样,首先是从有色金属发展起来的。本文以钢的小方坯连铸为主进行叙述。

(二) 水平连铸的发展过程

迄今,钢的水平连铸机的发展过程如图1所示。60年代美国General Motors公司开始

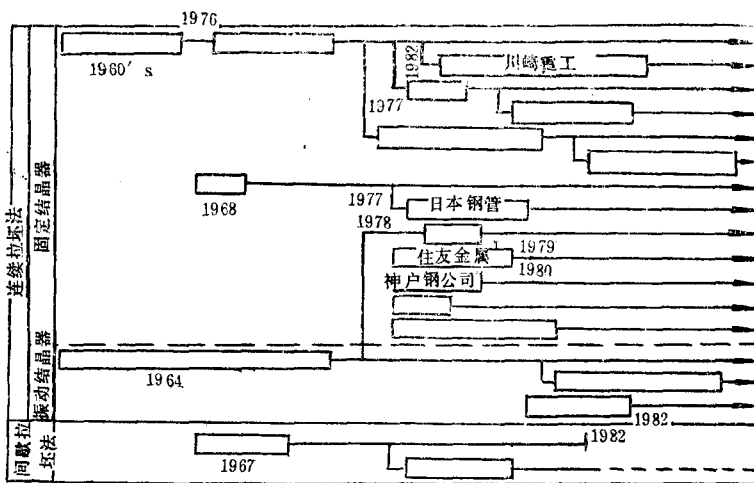


图1 水平连铸机的发展过程

中间设备试验, 1977年西德的Technica Guss公司引进了美国G.M公司的基本专利。T.G公司加以各种改进, 目前已投产了12台这种设备(在欧洲和美国)。

今天作为一个流派, 从1968年到1975年英国Davy-Loewy公司在自己的设备上反复进行了研究, 1976年与日本钢管着手共同开发实用规模的方法, 1982年日本钢管福山钢铁厂完成了工业生产。

采用固定结晶器方式的水平连铸机, 除此之外还有许多类型, 但基本原理与G.M公司和Davy-Loewy公司的类似。

(三) 水平连铸的原理

水平连铸机的结构如图2所示。本文就固定结晶器方式水平铸机的各个部位进行如下的概述。

1. 中间罐

中间罐的容量, 在工业生产用的铸机上为2.5t(日本钢管公司)到10t(Mannse-mann公司)的规模。试验或中间试验连铸机用的中间罐为0.3~1.5t左右。日本钢管公司根据确保夹杂物的上浮分离和钢液向结晶器的适当的流动, 钢液在中间罐中停留3分钟以上来考虑中间罐的结构。

Böhler、住友金属工业、日本钢管等公司在钢包和中间罐之间采用防止氧化的措施, 以减少非金属夹杂物。

作为中间罐内钢液的保温方法, 采取了保护渣覆盖液面的方法, 或为了直接控制钢水温度采用配置感应线圈和无芯感应圈的措施。为了确保在中间罐内液面降低时钢液静压力仍保持一定, 采取了调整中间罐内Ar气压力的措施, 从而在整个浇铸过程中均可得到质量良好的铸坯。

2. 中间罐与结晶器的连接方法

中间罐与结晶器的连接处是顺利进行拉坯的关键部位。其连接方法很多, 图3a和图3b就是两个例子, 图3a所示为平面状的耐火连接件, 图3b所示的耐火连接件呈锥状插入结晶器口。这两种连接方法, 在结晶器里连续进行拉坯时, 都从凝固壳弱的部分产生破断, 在结晶器出口拉漏。

从而, 在水平连铸时必须强调间歇拉坯。用间歇拉坯法, 结晶器内的凝固壳正常地从分离环处形成, 可以进行稳定的操作。最近, 不仅采用间歇拉坯法, 还采用了在与拉坯相反的方向施加轻的压缩力(利用压缩机构), 更易于稳定拉坯的方法。

3. 分离环

为了连接结晶器和中间罐, 起稳定拉坯和普通立式连铸机钢液自由表面(弯液面)的作用, 并且从固定的地方形成凝固壳, 而采用了分离环。

因此要求分离环的材质应具有以下特性: 1)高温强度; 2)低膨胀率; 3)耐剥离性; 4)耐熔损性; 5)尺寸精度高。

以往分离环的材质大多使用BN。但是因为BN价格太高, 日本钢管公司在碳素钢上使用了在Si₃N₄里含少量BN的复合材料。这种材料在价格和性能上均优于BN, 目前已用于工业生产。对于不锈钢用的分离环, 研究了SIALON组成(Si_{6-z}Al_zO₂N_{8-z})的各种材质。

如图4所示,在SIALON组成的 $z=1$ 的材质中添加少量的BN陶瓷,其耐熔损性和耐热剥离性良好。

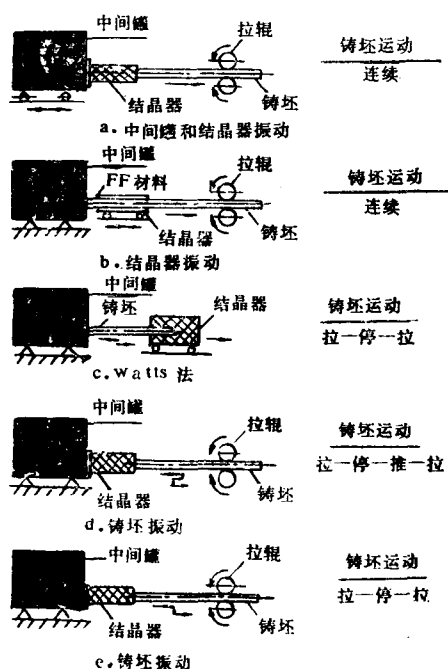


图2 水平连铸发展的典型代表

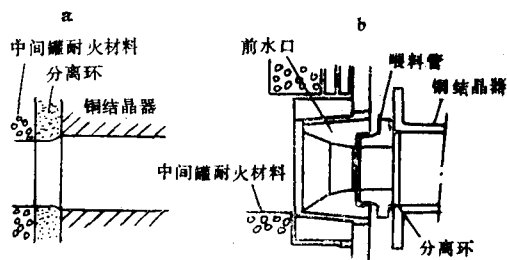


图3 中间罐与结晶器的连接方法

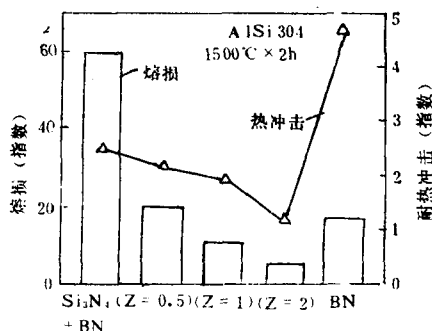


图4 分离环材料的耐蚀和耐热冲击试验

分离环使用导热率为BN的 $1/3 \sim 1/4$ ($5 \sim 10 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)的 $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-AlN-BN}$,而且减小结晶器与分离环连接段的面积差,也可减少拉痕深度。

关于分离环的熔损速度没有太多的报导, $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-}5 \sim 15\% \text{BN}$ 系材质的分离环其熔损速度为 0.7 mm/h 。分离环的精加工是得到良好铸坯的重要因素。据文献报导,分离环的加工精度已达到钢水不能浸入的 $\pm 0.005 \text{ mm}$ 。

4、结晶器

结晶器一般为管状,其材质采用耐高温性能好的折出硬化型铜合金。因为水平连铸结晶器与中间罐相连接成为整体结构,故结晶器做成带凸缘的。Technica Guss系列的水平连铸机,把一次冷却分成两段,从钢水入口至约 200 mm 长度用Be析出硬化型铜合金,在 $200 \sim 900 \text{ mm}$ 长度的结晶器铜板与铸坯接触的部位,安装石墨套,起润滑作用。

不用保护渣的水平连铸,铸坯的凝固壳与结晶器之间的润滑成为问题,一般不强制润滑,而是在内表面进行涂镀处理,减小铸坯与结晶器之间的摩擦阻力。例如,通过镀弥散 15% 氟化碳($\text{CF})_n$ 的Ni,使具有自润滑性,摩擦系数减小到 $0.1 \sim 0.2$,除浇铸初期外,拉坯力很稳定,可以顺利地进行连铸。

除了涂镀以外,也有在浇注前在结晶器上涂覆 $100 \mu\text{m}$ 左右的石墨系固体润滑剂(铜粉 25% ,硅酸锂 25% ,其余为石墨)的。 115 mm 方的碳素钢铸坯浇铸 200 m 约需 80 min 。另外,在结晶器内表面热喷涂 MoS_2 产生自润滑性,摩擦系数可降低到 0.2 ,耐磨性在高温下也很好,浇铸 180 m 长的 110 mm 圆坯或方坯,不需清理结晶器。

最近,连铸不锈钢与合金钢时,只要结晶器的锥度选择的合适,即使不对结晶器进行特殊的涂镀处理,也可以和碳素钢一样进行浇铸。

在前面所介绍的那样的水平连铸中,结晶器内最初生成的凝固壳在一定的地方形成,故需要进行拉拔。这种状态不能直接观察到,但是做了监视结晶器内凝固行为的试验,通过用热电偶测定分离环附近的结晶器内壁的温度,监视钢液向连接部分渗入引起的凝固壳的粘着。这个方法是美国General Motors公司开发的,住友金属工业公司及Danieli公司也采用了。

从测定结晶器温度的结果可知,与浇铸水口连接部位的温度最高,结晶器工作面上的最高温度为 $420\sim 480^{\circ}\text{C}$ 。为使结晶器在如此高的温度下也能经受得住,改进了铜板的材质和冷却方法等。目前,可将使用后的结晶器对角线的变形量控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

与热电偶法不同,在结晶器上安装差动传感器,找出水压、拉坯周期及结晶器内壁温度之间的关系,作为监视结晶器内铸坯变化情况的方法是很有希望的。

中间罐内钢水的静压力对结晶器内散热速度的影响较大,特别是凝固初期在分离环附近由于凝固壳的膨胀与结晶器的接触良好。因此比以往的板坯连铸机的散热速度大,如图5所示。同时散热量也比以往的小方坯连铸机大50%左右,比板坯连铸机大80%左右。由于散热良好,凝固系数为 $26\sim 30\text{mm min}^{1/2}$,与板坯连铸机的 $23\text{mm min}^{1/2}$ 相比,高13~30%。

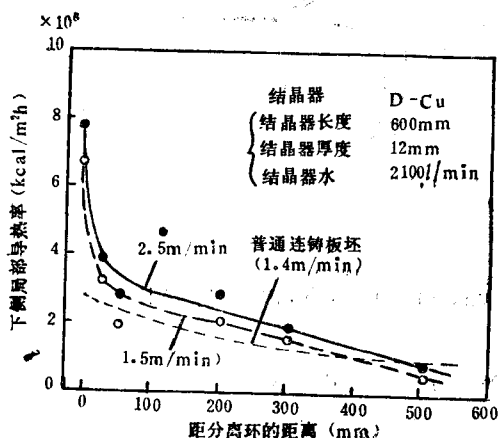


图5 通过热电偶测量的结晶器内各部位的散热速度

图7示出间歇拉坯方式的典型例子。拉坯方式大致可分为两大类。一种是拉一停(Go-Stop)方式,即在Danieli、住友金属,神户制钢见到的那种拉后稍停(图7a)待铸坯凝固的方式。另一种目前采用的方式是拉一反推-停(Pull-Push Back-Pause)(图7b,c),用反推仅仅压缩了拉-推-停一个周期内形成的初期凝固壳的收缩量,故可以得到比较坚硬的凝固壳。采用反推方式可防止在热点部分(初期凝固壳最薄的部分,参看图7)及冷隔(也称为连系痕,拉痕)部分容易生成的铸坯裂纹。

根据Haissig的观点在图8中指出,反推到什么距离,以及停止时间多长对于防止拉漏是很重要的。加之,用齿轮方式的拉-推,在几个月的操作中发生松动,一成这样,表面质量就恶化,并且发生拉漏。因此,最近逐渐用油压驱动方式代替齿轮驱动方式。

6、铸坯拉速与铸坯尺寸的关系

用各种水平连铸机生产的铸坯尺寸与其连铸时的拉坯速度相对应,汇总整理得到图9。

5、拉坯方式

驱动拉辊的方式不同,有直流马达式,油压伺服式等,但是通过辊子拉坯的方式,除Mannesmann-Demag方式外,其它方法基本相同。Mannesmann-Demag方式采用夹钳,与铸坯的接触面积较大,故没有以往用辊子拉坯出现的那种铸坯凹陷,同时,拉坯间歇时间控制到0.01s,故精度良好。

其它方式有通过齿轮齿条驱动的。在日本钢管公司,图6所示的方法作为拉坯的控制系统已系列化。在这种方法中,拉坯是采用油压伺服方式。通过该驱动系统控制拉一推周期,而且从钢水的铸入到铸坯的切割整个作业全部自动进行。

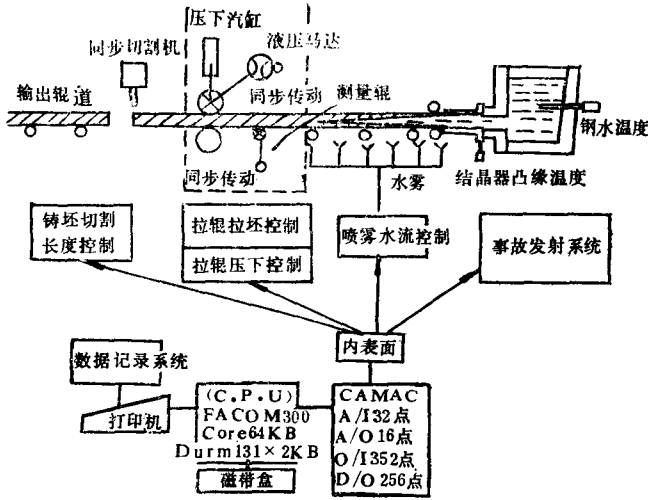


图6 水平连铸控制系统

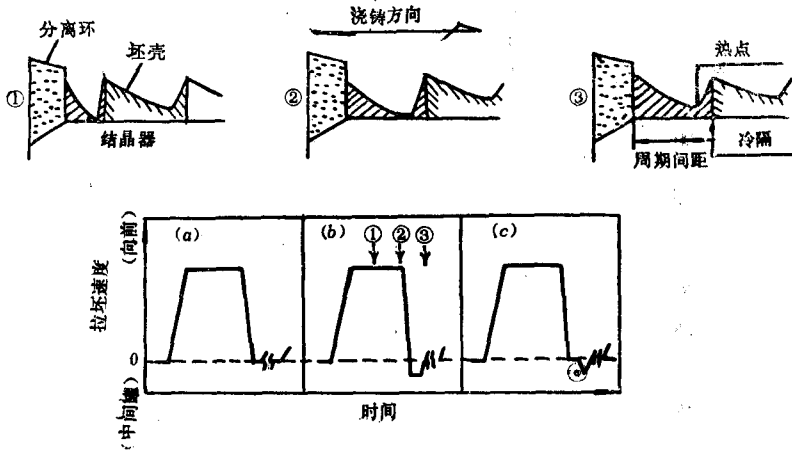


图7 拉坯方式的典型例子

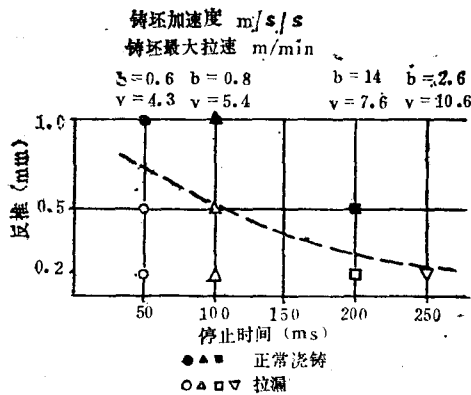
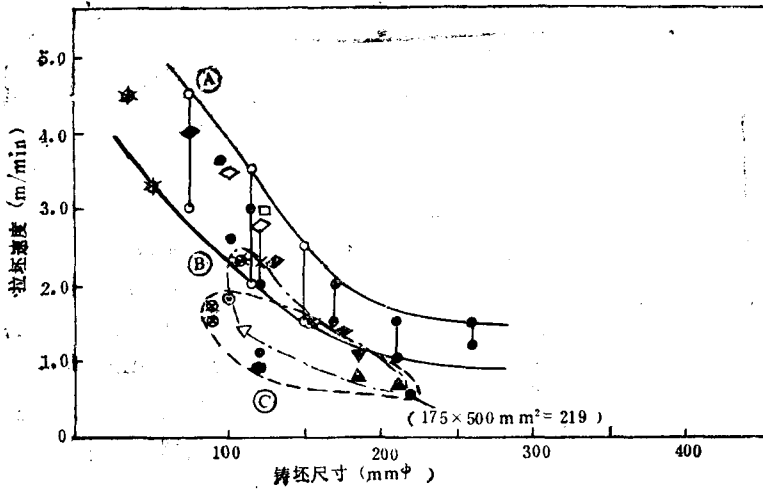


图8 推、停时间对发生拉漏的影响

在采用固定结晶器的间歇拉坯的情况下，为图中用实线表示的范围，由于铸坯尺寸的大型化，拉坯速度降低，在没有反推机构的情况下，为实线下面用破断线表示的范围，拉坯速度进一步降低。Mannesmann也发现了同样的倾向。

另外，使结晶器振动的苏联VNII metmesh和Krupp方式（后面将要介绍），其浇铸速度比固定结晶器的反推间歇拉坯式的还低。



- (A) 带反推的间歇拉坯 (固定结晶器)
 (B) 不带反推的间歇拉坯 (固定结晶器)
 (C) 连续线性拉坯 (振动结晶器)

设备类型	符号形式		钢 种	公 司
	○	□		
(A)	●	○	C.LA, SS	日本钢管、英国Davy-Loewy
	■	○	HA	美国General Motors
	◆	□	C.SS	西德Technica-Guss
	●	■	C.LA	西德Mannesmann Demag
	●	■	HA	西德Böhler
(B)	▲		SS	日本住友金属工业公司
	▼		CSS	日本神户钢公司
	井	×	C	意大利Danieli & Co.SPA
(C)	●	■	C	苏联Ukranian Metals Research
	○		C	苏联VNII metmash
	○		HA	西德Krupp Steel Co.

C: 碳素钢; LA、HA: 低合金钢、高合金钢; SS: 不锈钢

图9 铸坯尺寸和拉速的关系

7. 铸坯质量

(1) 表面质量

间歇拉坯或分离环的使用连铸坯的凝固多少有些不连续, 因此, 如果不连续部位结合的不好将会形成剥离和裂纹等缺陷。对于所谓冷隔裂纹, 在各种水平连铸法中进行了研究。对于碳素钢可以防止冷隔缺陷的发生。但是, 对于不锈钢和其它高合金钢还不能说已解决了这

个问题。为减轻和防止这种缺陷，应使拉痕变浅并减小裂纹敏感性。为此采取了下述措施：1) 高频率拉坯；2) 减小分离环与结晶器内径差；3) 分离环材质的最佳化；4) 结晶器电磁搅拌；5) 提高钢水过热度（参看图10）等。为阻止冷隔的开裂，改善压合效果，在结晶器出口进行热喷丸处理（HSB），与高频率拉坯一起取得了如图11所示的效果。

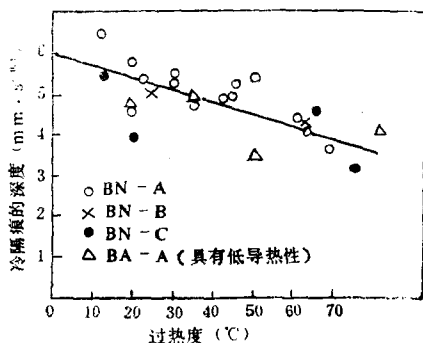


图10 钢水过热度对冷隔深度的影响

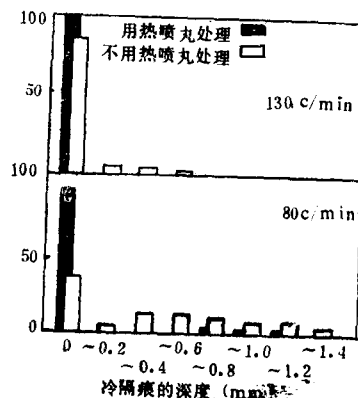


图11 热喷丸对冷隔裂纹深度的影响

(2) 非金属夹杂物的分布

根据对水平连铸坯夹杂物分布情况的调查结果，水平连铸坯的清洁度与以往立式连铸机连铸坯相比并不逊色。夹杂物的聚集倾向在上表面皮下5~10mm附近达到峰值。在钢包与中间罐之间采取密封措施（ $O_2 < 0.1\%$ ）可以防止夹杂物的聚集。

(3) 中心偏析

没有显著的偏析，仅在碳素钢和低合金钢中形成负偏析。而且与辊子支撑的弧形连铸机相比，电磁搅拌装置可以很容易地安装在水平连铸机的任何部位，通过将电磁搅拌装置安装在最合适的位置进行搅拌，中心偏析的改善效果更好。

(4) 成品质量

综合用水平连铸坯生产的成品质量结果来看，碳素钢和低合金钢的成品质量，基本上可以满足要求。而高合金钢则因冷隔痕引起的组织异常发生缺陷，必须经过表面清理除去缺陷后才能进行轧制。今后，这个问题的改善将是水平连铸发展的关键。

(四) 水平连铸的凝固理论

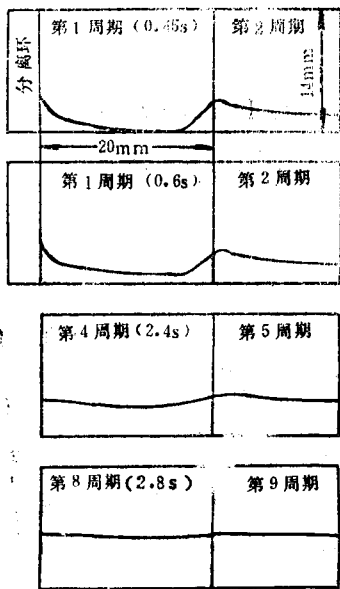
1967年Szeekely等人对于用一端封闭的水平结晶器进行连铸的方法（即Watts法），通过数学模型进行分析。根据他们的分析结果认为，由于凝固的进展，管状凝固壳的断面增加，供给钢水变得困难，因此，存在着最大浇铸长度。从钢水到凝固壳的传热系数，凝固壳表面上水雾的传热系数，及所供钢水等因素所造成的糊状区比例对浇铸长度的影响很大，估计为铸坯宽度的300~500倍。

1981年以来发表了许多有关水平连铸的凝固理论，主要有以下几种。Jaguemar等人认为，间歇拉坯式连铸的热传导是通过传导和对流，加上凝固前沿的界面移动，用包括质量的连续性、能量平衡和力学平衡的差分式表示。其结果，初期阶段的凝固速度比立式连铸的高。但随着时间的推移，此差值变小。如图12所示那样，凝固开始后即促进分离环与先形成

的凝固坯的结合部分的凝固，凝固壳厚度极不均匀。在文献中有关于清晰可见的锯齿状凝固壳的粗略的近似计算。但是，铸坯从结晶器内部进入二冷区时，这种凝固壳的不均匀性变得可以忽略，故在水平连铸中不发生拉漏。

Schneider 等人分析了纯金属间歇拉坯连铸时，在临界条件下凝固界面和结晶器壁的能量平衡，调查研究了从静止分离环和移动凝固壳生成凝固壳的条件。

衫谷等人考虑了间歇拉坯条件，对包括结晶器、分离环以及浇注水口的二维初期凝固进行了差分分析，表示组织不连续性的拉痕深度与分离环的材质、分离环与结晶器内径之差及拉坯频率的关系，和他们连铸的小方坯的实测值非常一致。



$t =$ 第一个拉坯周期完了 0.45s
 $t =$ 第一个拉-推周期 0.6s
 $t =$ 铸坯离开结晶器 4.8s

图12 计算的凝固过程

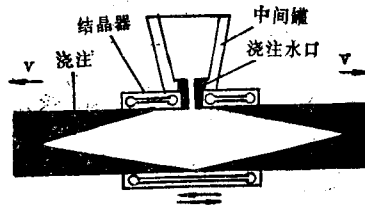


图13 苏联式的拉坯设备略图

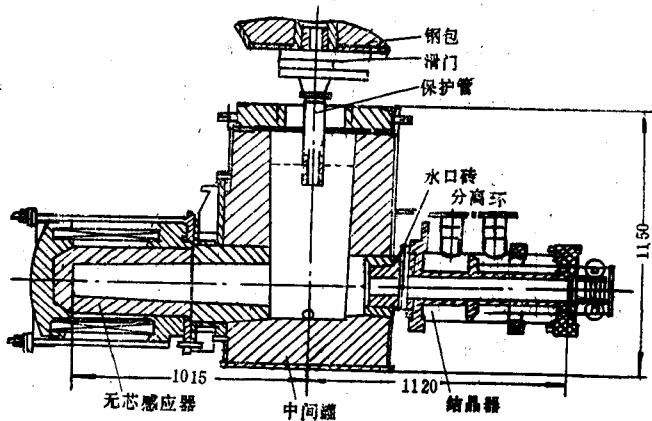


图14 Krupp开发的中间罐—结晶器的排列

(五) 振动结晶器连续拉坯式水平连铸的出现

前面所介绍的水平连铸机都是以用分离环和间歇拉坯为特征的，见下表所列。由于间歇及反推机械负荷大，同时分离环大型化困难，故浇铸大型断面铸坯困难。为了改进这一点，最近试验了结晶器振动的连续拉坯方式或不用分离环的水平连铸法。

1、苏联方式

苏联VNII metmash研究所开发的新型水平连铸机，相当中间罐的钢水容器与结晶器接合的状态如图13所示。使铸坯左右振动从侧端相反的方向连续拉出铸坯。目前，可以1m/min以下的铸速浇铸尺寸为120×120mm~150×500mm的铸坯。这种方式因为没有分离环，因此铸坯的尺寸和形状没有限制，蕴藏着生产板坯那样的大断面铸坯的可能性。但是，不用分离环初期凝固壳的生成和分离是否在一定的位置上稳定的进行，以及铸坯的表面质量和内部质

量等尚有许多不明之处，均有待于进行仔细深入的研究。另外，西德康卡斯特公司发表了相同方案的专利。

各种水平连铸机的性能

公 司	分离环(B/R) 材 料	结 晶 器			拉坯方式② (机械③)	最大铸坯尺寸(mm)	
		材料	涂层	条件①		圆	方
General Motors	BN	Cu-Be	石墨	S	IP	90	
Technica—Guss	BN	Cu-Be	石墨	S	IP(HR, DC)	205	200
Böhler	BN	Cu	石墨	S	IP(HR)	200	200
VOEST—Alpine	BN	Cu	石墨	S	IP(DC)	260	160
Mannesmann Demag	BN复合材料	Cu	石墨	S	IP(HJ)	220	220
川崎重工	BN	Cu	石墨	S	IP	96	120
Davy Loewy	Si ₃ N ₄	Cu	MoS ₂	S	IP(HR)	150	95
日本钢管公司	SIALON	Cu-Cr -Zr	浇铸前 涂润滑剂	S	IP(HR)	330	250
Ukranian Metals Reseach	石墨	Cu		O	C	200	200
Danieli	石墨	Cu		S	IP(DC)	200	200
住友金属工业公司	Si ₃ N ₄ -AlN-BN	Cu	Ni+ (CF) _n	S	I(HR)	328	180
神户钢公司	BN复合材料	Cu	MoS ₂	S	I(DG)	150	150
IRSID	Si ₃ N ₄	Cu	MoS ₂				85
Stewarts und Lloyds	没有分离环			S			150
Krupp Stahl	BN	Cu		O	C		100
VNIImetmash(UUSR)	没有分离环	Cu		O	C		400
Technicon		Cu		O		140	203

①S: 固定; O: 振动

②IP: 带有反推的间歇拉坯; I: 不带有反推的间歇拉坯

③DC: 直流马达驱动拉辊; HR: 液压驱动拉辊; HJ: 液压夹紧装置

2、克虏伯方式

西德克虏伯(Krupp Industrie technik GmbH)公司开发的振动结晶器连续拉坯式水平连铸机，首先在铜合金上进行连铸(φ60~176mm)，最近开始进行高合金钢的连铸试验。

图14表示该铸机的示意图。与1t中间罐相连接的长500mm的结晶器固定在一个振动台上，振动台的振动行程为0.5~5mm，振动频率最大为7Hz。铸坯尺寸为φ100mm，使用BN制的分离环。最大拉坯速度为3m/min。

Krupp式的拉坯方式与以往的反推间歇拉坯方式的比较示于图15。在以往的方式中因为拉辊驱动复杂，对于高频浇铸的拉坯控制、增加铸坯单重及增加冶金长度，要求具有刚性较好的拉坯装置。另外，在Krupp方式中结晶器振动是非常单纯的正弦形，拉坯的驱动系统不

仅仅是按一定的速度连续进行拉坯，而且与以往的水平连铸机区别很大。

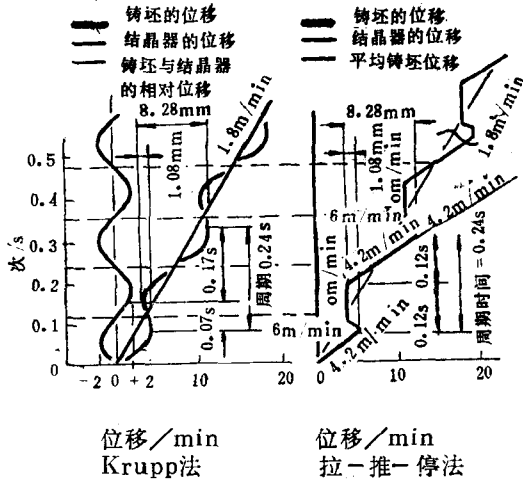


图15 不同水平连铸法铸坯和结晶器的运动

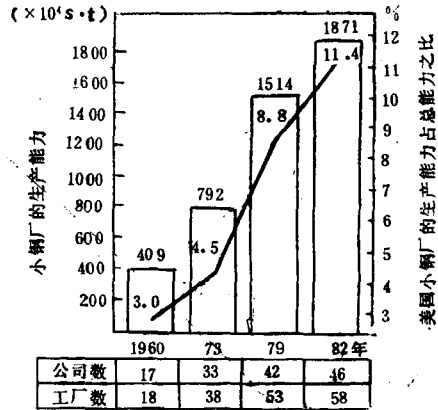


图16 美国小钢厂年产能力的变化

(六) 水平连铸今后的发展

美国和欧洲的钢铁联合企业贻误了设备投资时期，而且对于设备投资是消极的，钢产量停滞和降低。因此，与代表钢铁联合企业的高炉-转炉-连铸工艺路线需要大型设备的炼钢法相比，灵活效率高的小钢厂变得非常活跃。以美国为例，如图16所示，60年代小钢厂仅有18个，其生产能力为409万吨/年，到1982年小钢厂增加到58个，生产能力增加到1871万吨，增长了3倍多。小钢厂的钢产量占美国总钢产量的比例从3.0%增加到11.4%。

目前在日本高炉-转炉-连铸工艺流程占主导地位，转炉钢产量占总钢产量的比，1983年为71.8%，连铸坯的产量占总钢产量之比为88.0%，与欧美各国相比占压倒优势。近几年日本电炉钢的产量每年都略有增加。1983年电炉钢产量为2830.4万吨/年，占总钢产量的28.2%，随着电炉炼钢法的发展，灵活而效率高的小钢厂有了发展，考虑到与下道工序的连续化和同步化，厂房和设备都比较简单的水平连铸将受到注意。

此外，在通常采用的弧形连铸机上，必须进行矫直，含特殊元素的钢种热机械强度不高，通过矫直会出现表面和内部裂纹，完全垂直（立式）的铸机需要高额的设备费。用水平连铸机生产的铸坯不产生矫直裂纹。此外，结晶器与中间罐连成一体，防止了钢水在期间的再氧化，从而防止了非金属夹杂物的增加。而且还有钢水静压力低，不易发生中心偏析和内部裂纹等优点。因此，水平连铸是一种有前途的连铸方法。

1、小铸坯用水平连铸

目前，除苏联方式外，都必须使用分离环，因陶瓷分离环尺寸的限制，铸坯尺寸被限制在 $\phi 330\text{mm}$ 以下。但如前述，由于分离环用陶瓷材料的开发，大型化已成为可能。

由于分离环生成的冷隔痕也通过在浇铸后立即采用EMS，热喷丸处理、采用合适的频率和行程等措施，在碳素钢上已基本得到解决。

西德Boschgotthard Shutte公司于1984年春完成了热坯直送加热炉的新工艺。该公司除不锈钢外，将热铸坯用火焰切割机切断以后，立即装入加热炉达到所规定的温度后直接进行轧制。目前已用此工艺顺利地进行生产。从这个例子可以看出，水平连铸的操作技术已有了相当的发展，到了可以适用于小钢厂或大型钢铁联合企业小批量订货的阶段。

在日本已经达到了90%以上的连铸比，估计设置新的大方坯和小方坯连铸机的机会不多。在今后更新现有连铸机的过程中，有设置水平连铸机的可能性。

但是，在欧美连铸尚不发达的地方有充分考虑的余地。加之，水平连铸没有停留在大方坯、小方坯的连铸上，如果可以连铸薄板坯的话，其发展前景将是不可估计的。

2、薄板连铸

本文没有详细谈及此问题，但是薄板坯的连铸是受人瞩目的。最近，特别是在美国对薄板坯连铸机（Thin Slab Caster）的开发非常积极。使人感到似乎美国企图通过薄板坯连铸的发展，一举扭转钢铁工业至今衰退的局面。美国政府能源部（DOE）在近几年间投资3000万美元，开发小尺寸（一英寸厚）的薄板连铸机，以达到振兴钢铁工业之目的。这个项目由美国U.S. Steel公司的研究中心和Bethlehem Steel公司的Horner研究所共同开发。此外，西德Mannesmann公司也开始研究薄板坯的连铸，而且，Battelle研究所对此也很积极。今后，对于薄板坯连铸机的研究开发竞争将会更加激烈。

在日本，钢铁协会主办的快速凝固部会已开始工作，以此作为活动基地，可望今后的研究开发工作将会非常活跃。

（七）结束语

钢产量的停滞和日本连铸比的饱和，应对高炉—转炉—连铸法的发展趋势重新进行估计。同时，日本连铸机的设置从60年代已经开始，使用了20年的连铸机已经开始出现。在此背景下，水平连铸机可能将会受到重视。因此，在此文中介绍了水平连铸机的原理，综观了水平连铸的现状和未来。

参考文献57篇略

译自日刊《铁与钢》1985，№7

阎峰译 倪满森 技校

二、水平连铸—未来应用的技术

Manfred Haissig

（一）概况

自十九世纪中叶Sellers和Bessemer试图研制水平连铸机以来，全世界的冶金工作者一直在这方面进行工作。

从1930年起，水平连铸法一直用于连铸有色金属合金和生铁。但是，该法用于连铸钢有一个较大的问题，就是用作结晶器材料的石墨会溶解于钢中。

水平连铸的发展过程示于图1。最初，中间罐与跟它相连接的结晶器一起振动，铸坯被连续地拉出（见图1a）。但是，让重量大的设备振动遇到了一些问题，这促使迈出了第二步——只振动结晶器（见图1b）。该法的主要问题是结晶器与中间罐之间保持密封。其解决办法是振动连铸坯（见图1d和1e）

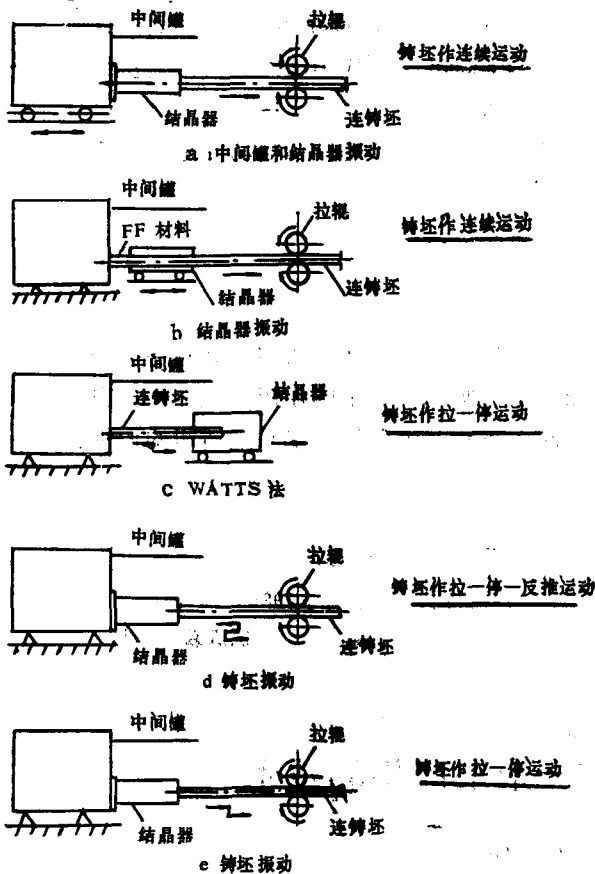


图1 水平连铸的发展过程

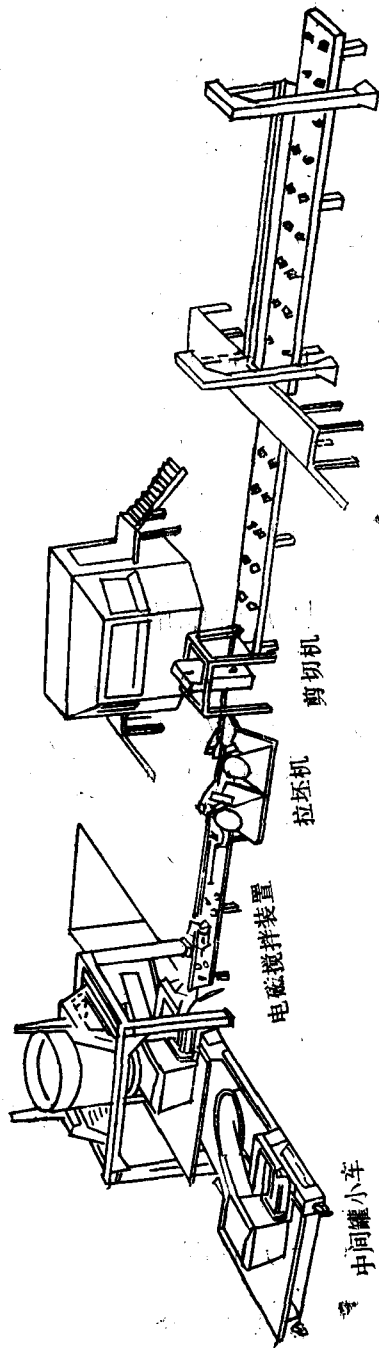


图2 水平连铸机平面布置图

但是，西德的Krupp公司好象已经找到了振动结晶器和中间罐的有效解决办法，而不是振动连铸坯。

在采用铜作结晶器材料的同时，已研制成用氮化硼作分离环。氮化硼的性能（机械性能、物理性能、不被钢浸润的性能、耐热冲击性、热膨胀性等）对于这种用途是极好的。通过改进氮化硼的制造工艺和代用的陶瓷制品进一步研究分离环，是今后研究潜在的领域。

近二十年来，东方世界和西方世界的许多公司独立地开发了水平连铸法。现已有不少先

进的水平连铸机投入生产，其铸坯质量跟普通连铸机铸坯相同。主要有以下几家公司：

- 1) General Motors公司——连铸低合金钢坯；
- 2) Davy Loewy公司和日本钢管公司——连铸低合金钢坯；
- 3) Voest—Apline公司——按Bohler的技术诀窍进行设计，采用了Steel Casting Engineering公司的传动系统，用于连铸低合金钢坯和高合金钢坯，即锻件和轧材用的不锈钢坯；
- 4) Steel Casting Engineering公司——连铸低合金钢坯和高合金钢坯，即锻件和轧材用的不锈钢坯；
- 5) Technica Guss公司——按General Motors公司的技术诀窍设计，用于连铸轧材和锻件用的低合金钢坯和高合金钢坯。

其它公司，例如住友金属公司、Foundry Magotheaux公司和Thome Industries公司，已经研制成功它们自己的用以连铸高合金钢和生铁的水平连铸机。近来，其它一些公司，如Krupp、Demag、Concast、Danieli和川崎等公司，也已决定建造水平连铸机。Danieli公司还采用苏联土拉钢铁科研生产联合体的技术诀窍。

所有这些公司都开发了连铸3英寸和更大尺寸铸坯的连铸机。

世界上现有的水平连铸机大多安装在苏联，不过，这些水平连铸机因为采用氧化铝的分离环，在获得优质铸坯方面有一些冶金上的局限性。

Steel Casting Engineering公司还开发了除了能连铸表面耐磨堆焊合金外，还能连铸3~25mm不锈钢和镍基合金线材和棒材的水平连铸机。

开发水平连铸的目的在于：

- 1) 减少投资；
- 2) 降低高度和减少占地面积；
- 3) 安装在现有的厂房内；
- 4) 减少操作工人；
- 5) 降低钢水的静压力，以使连铸坯的鼓肚和内裂最小和最少；
- 6) 在中间罐和结晶器之间没有金属的二次氧化，这对于连铸小断面铸坯特别重要；
- 7) 提高结晶器的热传导能力（因为不使用润滑剂）；
- 8) 缩短冶金长度；
- 9) 连铸坯不弯曲，以连铸对裂纹敏感的连铸坯；
- 10) 可另安装加热装置，以实现低过热度的等温连铸；
- 11) 可将惰性气体通入结晶器中，以增大热传导；
- 12) 容易安装电磁搅拌装置。

水平连铸机的典型布置示于图2。其中间罐和结晶器的剖面图示于图3。

（二）主要设备

水平连铸机采用的中间罐、电磁搅拌装置、剪切机或火焰切割机、冷床与立式连铸机的相似，只是剪切机的结构有些特殊。两者的差别在于水平连铸机有滑动阀，结晶器和拉坯机的型式也不相同。

1、滑动阀

多流连铸机必须安装滑动阀，而单流连铸机安装滑动阀也有优越性。一套典型的装置示于图4（略）。